

## 放射状迷路におけるラットの時間的系列学習

矢 澤 久 史

全ての記憶は事象、空間、時間という3つの要素から構成されており、記憶に基づいて生物が適切な決定を行うためには、これらの3つの要素が統合されなければならない (Olton, 1985)。直線走路を用いた系列学習 (例えば、矢澤, 1995) では、複数の報酬事象が時間的に提示されるので、事象と時間に関する情報は複雑となる。一方、報酬事象は1つの目標箱で与えられるので、空間的な情報は単純である。放射状迷路で複数の報酬事象を与えた場合には、報酬事象が複数の空間位置に配置されるという点で、直線走路課題よりも空間に関する情報が複雑になる。

Hulse & O'Leary (1982) は、4方向放射状迷路において決められた各アームの先端部分に毎日それぞれ18、6、1、0個の餌ペレットを置き、ラットにアームを自由選択させた。その結果、5日から7日間の訓練で、ラットは18、6、1、0というようにペレット数の多い順にアームを選択するようになった。しかし、Hulse & O'Leary の用いた課題は各ペレットの空間的関係を学習すればできる課題であり、直線走路で要求されるような複数事象間の時間的関係に関する学習は必要とされない。

Phelps & Roberts (1991) は、Hulse & O'Leary (1982) の実験に時間的要素を加え、4方向放射状迷路を用いて、事象、空間、時間の全てを手がかりとする系列学習課題を設定した。彼女らの実験では、各試行において全てのアームに報酬が置かれるのではなく、どのアームに報酬項目(R)と無報酬項目(N)が配置されるかは各試行ごとに変えられた。4本のアームには、単一交替系列(RNRNRNRNRNRN)、二重交替系列(RRNNRRNNRRNN)、2種類の非単調系列(RNNRRNRNRNNRとNNRRRNNRRNR)という4種類の系列の

いずれかが割り付けられた。したがって、第1試行では各アームには4系列のそれぞれの第1項目(RRRN)が、第2試行では第2項目(NRNN)がというように、各アームに割り付けられた系列にしたがって12試行まで報酬項目と無報酬項目が配置された。

実験の結果、各アームにおける選択順位を見ると、単一交替系列と二重交替系列ではいずれも報酬項目が早く選択されていたのに対して、無報酬項目では選択順位が遅く、ラットは報酬の有無に対して分化的に反応することが示された。これに対して、2つの非単調系列ではそのような選択順位の分化は得られなかった。

谷内(1996)は、Phelps & Roberts (1991) が考案した系列学習課題にHulse & O'Leary (1982) が用いた餌ペレット数を項目として提示するという手法を加え、次の2つの群を設定して各項目の選択順位を調べた。2M群では4本のアームに対し、2つの単調系列(6-3-1-0と0-1-3-6)と2つの非単調系列(3-6-0-1と1-0-6-3)の4系列のいずれかが配置された。一方、1M群では1つの単調減少系列(6-3-1-0)と3つの非単調系列(3-6-0-1、1-0-3-6、0-1-6-3)の4系列が配置された。つまり、4本のアームにはそれぞれ第1試行では各系列の最初の項目(6,3,1,0)が置かれ、第2試行では第2項目(3,6,0,1)、第3試行では第3項目(1,0,3,6)、第4試行では第4項目(0,1,6,3)が配置された。なお、両群とも各アームにどの系列が割り付けられるかは毎日変えられていた。

実験の結果、ラットはペレット数の多い順にアームを選択するよりも、右回りや左回りといったパターン化した選択を示した。実験では6個、3個、1個、0個のペレットが使用されたが、どの試行においても6と3ペレット、あ

るいは1と0ペレットが常に隣接していた。そのためラットが6と3ペレットを大報酬、1と0ペレットを小報酬としてカテゴリー化したためにステレオタイプの選択がなされたと谷内(1996)は考えている。

Wathen & Roberts (1994) は、4方向放射状迷路を用い、各アームに単一交替系列(NRN RNRNR)、二重交替系列(RRNNRRNN)、2種類の非単調系列(NNRRRRNNとRRNNNNRR)の4種類の8試行系列を割り付けて、ラットを訓練した。その結果、単一交替や二重交替系列とも選択順位の分化が示され、ラットはこの2つの系列を学習していた。しかし、選択順位が完全に分化した後に、訓練時の8試行の後にその系列の法則構造を維持して新たに4試行を加えた場合、その4試行では報酬項目と無報酬項目間には選択順位の分化が示されなかった。Wathen & Roberts は、訓練された試行数では系列に対する学習が成立するのに対し、付加した試行では学習が出来なくなるという結果から、各アームにおいて報酬項目と無報酬試行がそれぞれ何試行目に生じするかという試行数戦略が用いられていることを示唆した。

Phelps & Roberts (1991) の実験では、アームへの系列の割り付けは日によって変えられていた。これに対し、Wathen & Roberts (1994) では、毎日決まったアームに決まった系列が配置されていた。Phelps & Roberts (1991) の実験のように、アームへの系列の割り付けが毎日変更された場合には、先行項目だけがアーム選択の手がかりとして有効となる。そのため、そのアームの先行項目に基づいて当該試行が報酬項目か無報酬項目であるかが予測されたと考えられる。一方、Wathen & Roberts (1994) の実験のように系列の割り付けが固定されると、当該アームの何試行目が報酬か無報酬かという試行数戦略が用いられる可能性が高い。

そこで本研究では、1日4試行からなる短い系列を用い、1試行における報酬項目(R)と無報酬項目(N)の割合を3:1にして、4種類の系列を4本のアームに割り付け、ラットが試行

数ストラテジーを用いているかどうかを検討する。報酬項目と無報酬項目の割合を3:1にすると、1試行において4本のアームのうちの1本のみが無報酬項目となる。また、各アームについて見ると、4試行のうちのどこかの1試行のみが無報酬項目となる。4種類の系列は、NRRR、RNRR、RRNR、RRRNであり、4本のアームにそれぞれ第1試行では各系列の第1項目(NRRR)、第2試行では第2項目(RNRR)、第3試行では第3項目(RRNR)、第4試行では第4項目(RRRN)が割り付けられる。設定された系列の項目数、アームの本数、試行数がそれぞれ4つと比較的少ないことから、ラットがそのアームの何試行目が無報酬であるかという試行数ストラテジーを利用できれば、各項目の選択順位は、報酬項目よりも無報酬項目の方が遅くなることが予想される。

Phelps & Roberts (1991) と Wathen & Roberts (1994) の実験では、隣り合うアーム同士の角度が全て90°であり、空間における手がかりが比較的容易であった。谷内(1996)は、放射状迷路における系列学習ではアームを周回するように選択するといったステレオタイプの反応が発達しやすいことを報告している。そこで本実験では、空間を複雑にするため、パターン化した選択を消失させるために、隣り合うアームの角度を90°、45°、135°と不規則にした4方向放射状迷路を用いることにする。

## 方 法

**被験体** 被験体として実験開始時に98日齢のWistar系のナীবな雄ラット10匹を使用した。

**装置** 装置として8方向放射状迷路の8本アームのうち4本のアームを使用し、4方向放射状迷路とした。なお、互いに隣接するアーム同士の角度は90°、45°、135°であった。

**手続き** 実験は予備訓練期(12日間)、習得期(60日間)からなっていた。

(1) **予備訓練期**：予備訓練1日目より、1匹あたり約12gの餌ペレットを与えるという食餌

制限が開始され、予備訓練最終日までに、全てのラットの体重を実験開始前の 85 - 90% まで減少させた。この体重は食事制限によって、実験終了時まで維持された。

予備訓練 5 日目から 12 日目まで各ラットに 45mg の餌ペレット 5 個を個別ケージ内で与え、報酬用ペレットに慣れさせた。9 日目から 12 日目には、各ラットに対し 3 分間のハンドリングを行った後、各ケージ内でペレット 5 個が与えられた。11 日目と 12 日目には、3 分間のハンドリング後に 5 匹を 1 グループとして集団で 8 分間走路探索させた。その後、各ケージでペレット 5 個が与えられた。なお、走路探索時には 8 つのアームのうち実験に用いる 4 つのアームのギロチンドアが開けられていた。

(2) 習得期：5 匹を 1 グループとし、先に実験を始める 5 匹を飼育室から実験室に移動させ、個別に 5 連ケージに入れた。この 5 連ケージでは自由に水を飲むことができた。迷路の 4 本のアームのうち 3 本のアームの先端に 1 個のペレットが置かれた。それぞれのアームに割り当てられる系列は NRRR、RNRR、RRNR、RRRN の 4 種類であり、各アームにどの系列が割り当てられるかは 5 つのパターンに分けられ、全 10 匹のラットは各系列に 2 匹ずつ割り当てられた。どのアームにペレットが置かれるかは各ラットで毎日固定されていた。

1 匹目のラットの条件に従い 4 本のうちの 3 本のアームにペレット 1 個を置き、ラットを 5 連ケージから取り上げ、装置のプラットホームの中央に置いた。この時、ラットの頭の方角は試行ごとにランダムに変えられた。5 匹のうちどのラットから実験を行うかも毎日ランダムとした。ラットを中央に置いた後、4 つのギロチンドアを同時に開けた。ラットが 1 本のアームに入ったら、そのアーム以外の 3 本のアームのギロチンドアを閉めた。選択したアームから中央に戻ってきたら残りのギロチンドアを閉め、ラットをプラットホームに 10 秒間閉じ込めた。その後、4 つのギロチンドアを再び一斉に開け、第 2 選択が行われた。各試行はラットが 4 本のアーム全てを訪れるか、あるいは 10 分経過した時点で終了とし、迷路からラットを取り出し

て、5 連ケージに戻した。ラットがアームに進入した順序と、既に進入したアームに対する再進入を記録した。第 2 試行以降の試行も同様の手続きで行われた。

1 匹のラットに対して、試行間間隔 60 秒で 1 日 4 試行が連続して行われた。全てのラットの試行が終了したら、体重を測定して飼育ケージに戻し、飼育室で 1 匹につき 4 個の餌を与えた。引き続いて次のグループ 5 匹に対し同様の手続きが実施された。なお、個体識別は体に塗られたメチレンブルーの位置によってなされた。

## 結 果

データは 3 日間を 1 ブロックとして 60 日間を 20 のブロックに分け、各アームの選択順位を得点化した。得点化の方法は、ペレットを食べたかどうかに関係なく、1 試行において試行を開始して最初に選択したアームを 4 点、第 2 選択のアームを 3 点、第 3 選択アームを 2 点、最後に選択したアームを 1 点とした。また、選択されなかったアームは全て 1 点とした。したがって選択順位得点が高いアームほど早く選択されたことになる。

図 1 は第 1 ブロック（訓練初期）、図 2 は第 10 ブロック（訓練中期）、図 3 は第 20 ブロック（訓練終期）の各アームの平均選択順位を試行別に示したものである。ブロック別にそれぞれアーム (4) × 系列 (4) の 2 要因の分散分析を行った。その結果、図示した 3 ブロックを含めて、第 1 から第 20 の全てのブロックにおいて

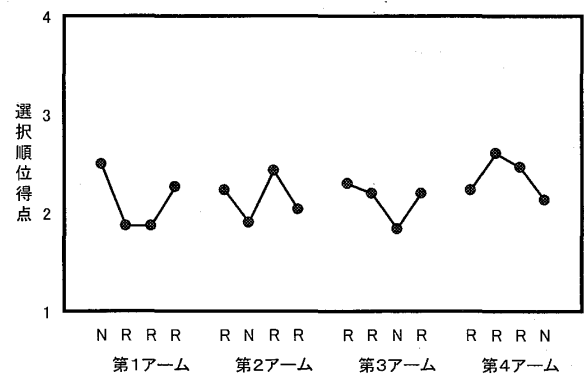


図 1 第 1 ブロックにおけるアーム別選択順位得点

アーム×系列の交互作用は有意ではなく、どのブロックにおいても項目によって選択順位が異なることは示されなかった。

## 考 察

アームへの系列の割り付けが毎日変更された Phelps & Roberts (1991) の実験では、そのアームで与えられた先行項目や法則情報に基づいて系列学習がなされていた。これに対し、アームごとに系列が固定されていた Wathen & Roberts (1994) では、報酬と無報酬がそれぞれ何試行目に来るかという試行数ストラテジーが用いられることが示唆されていた。

本研究では、各アームで与えられる4試行のうちの決められた1試行が常に無報酬である系列において、何試行目が無報酬であるかという試行数ストラテジーを用いることによって系列が学習されることを予測した。しかし、60日の訓練を行っても、最終ブロックまでにアーム選択順位の分化が示されず、系列学習は成立しなかった。

本実験では Wathen & Roberts (1994) の実験と同様に、アームに割り当てる系列は固定された。しかし、Wathen & Roberts は単一交替や二重交替という法則構造を持つ系列を用いたのに対し、本実験における系列は4試行のうちの決められた1試行だけが無報酬であるというだけで、法則構造を持っていなかった。Wathen & Roberts では系列学習が成立していたのに対し、本実験では選択順位の分化がなされなかったことから、アームが固定されていても、試行数ストラテジーだけでは学習の成立

が難しく、Wathen & Roberts の実験では、試行数ストラテジーと系列構造による情報の両者が利用されていた可能性がある。彼らの実験では、訓練時に存在していた情報のうち、付加された試行では試行数ストラテジーが使用できなかったため、付加試行に対しては選択順位の分化が示されなかったのかもしれない。

しかし、4試行のいずれか1つの決められた試行が常に無報酬であるという本実験で用いた系列は学習が難しいようには思われない。Yazawa & Fujita (1984) が報告したように、直線走路ではラットは第1試行のみが報酬を受ける RNNNN 系列や第5試行のみで報酬を受ける NNNNR 系列を学習している。さらに矢澤 (1988) は、第3試行と第9試行だけが報酬項目である12試行からなる NNRNNNNNRNNN 系列で2つの報酬試行での走行がすべての無強化試行よりも速く、ラットが試行数ストラテジーを用いて少なくとも9を数えていることを示している。また、Suzuki & Kobayashi (2000) は、何番目の箱に報酬が入っているかという箱課題を用いて、ラットが12まで計数できることも報告している。本実験で試行数ストラテジーを用いた学習がなぜできなかったかを考えると、直線走路や箱課題とは異なり、放射状迷路という空間的な課題を用いたことに原因があると思われる。

Neath & Capaldi (1996) は、放射状迷路で何試行目かという情報を手がかりとして選択されるのは第1選択における最初の1つの報酬アームだけであり、残りの報酬アームについては無作為な順序で選択されることを指摘している。Wathen & Roberts (1994) の実験でも、

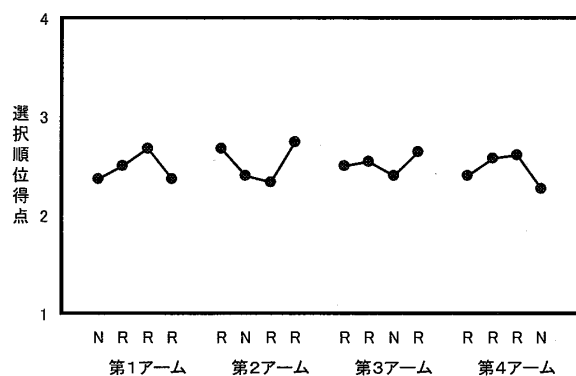


図2 第10ブロックにおけるアーム別選択順位得点

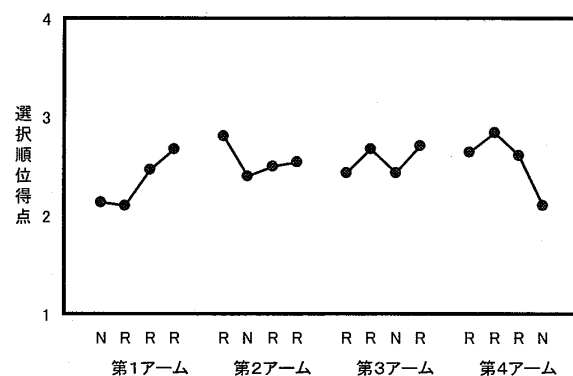


図3 第20ブロックにおけるアーム別選択順位得点

各試行の第1選択アームに強い選好が認められている。本実験でも、被験体によって若干異なっていたが、割り当てられた系列に関係なく、第1選択では3分の1以上の割合で同一の報酬アームが選択されていた。残りの3本のアームはほぼ同じ低い割合で第1選択がなされていた。しかし、第2選択以降はランダムな選択がなされ、いずれかのアームの選択が多いと言うことは見られなかった。ラットは報酬が置かれたアームの1つを記憶して、この報酬アームを各試行において第1選択として選んでいた。すなわち各被験体の選好に依存した第1アーム選択がなされていた。また、最後の第4選択では、残り1本のアームが報酬項目、無報酬項目に関係なく、第1選択で選んだアームに再進入することも見られた。

本実験では、ラットをギロチンドアによってプラットホームに10秒間閉じ込めることによって隣接したアームを次々に選択していくという常同的反応パターンは消失していた。しかし、閉じ込められている間にプラットホーム内で忙しなく動き、ギロチンドアを開けるとアームをほとんど吟味することなくそのまま目の前のアームに入っていくことも何回か見られた。

Olton & Collison (1979) は、4本のすべてのアームにペレットを置いて、ラットの選択行動について検討し、ラットはいったん入ったアームに再進入することなく、4本のアームを正しく選択することを示した。すべてのアームにペレットを置いた通常の8方向放射状迷路実験 (e.g., Olton & Samuelson, 1976) では、ラットは誤りなくアームを選択することが報告されている。放射状迷路のすべてにペレットを置くという課題は、複数の餌場を移動しながら採餌するという自然界でのラットの採餌行動である Win-Shift 方略に合致している。

一方、ペレットを置かないアームが各試行で1本だけであるという状況を用いた研究として、18、6、1、0ペレットの順でアームが選択されることを報告した Hulse & O'Leary (1982) と、ペレット数の順でアーム選択がなされなかった谷内 (1996) の実験がある。Hulse & O'Leary では、各ペレットが

置かれるアームが固定されており、毎日決まったアームが0 (無報酬) であった。これに対し、谷内では各試行で0 (無報酬) となるアームが試行ごとに変わっていった。本実験や谷内の実験のように1つだけペレットが置かれぬアームが試行ごとに変わるという課題は、ラットの自然界の状況に合わないことから、学習が非常に難しいのかもしれない。今後、本実験とは逆に、各試行においていずれか1本のアームのみにペレットを置き、そのアームが試行ごとに変わっていくという系列を用いて、試行数ストラテジーに基づく系列学習が成立するかを検討する必要があるように思われる。

## 引用文献

- Hulse, S. H., & O'Leary, D. K. 1982 Serial pattern learning by rats: teaching an alphabet to rats. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Process*, 8, 260-273.
- Neath, I., & Capaldi, E. J. 1996 A "random-walk" simulation model of multiple-pattern learning in a radial-arm maze. *Animal Learning & Behavior*, 24, 206-210.
- Olton, D. S. 1985 The temporal context of spatial memory. In L. Weiskrantz (Ed.), *Animal Intelligence*. Oxford: University Press. Pp.79-86
- Olton, D. S., & Collison, C. 1979 Intramaze cues and "odor trails" fails to direct choice behavior on an elevated maze. *Animal Learning & Behavior*, 8, 221-223.
- Olton, D. S., & Samuelson R. J. 1976 Remembrance of places passed: Spatial memory in rats. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 2, 97-116.
- Phelps, M. T., & Roberts, W. A. 1991 Pattern tracking on the radial maze: Tracking multiple patterns different spatial location. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 17, 411-422.
- Suzuki, K. & Kobayashi, T. 2000 Numerical Competence in Rats (*Rattus norvegicus*):

- Davis and Bradford(1986) extended. *Journal of Comparative Psychology*, 114, 73-85.
- 谷内通 1996 放射状迷路を用いたラットの系列パターン学習における順行抑制 金沢大学大学院社会環境科学研究科・社会環境研究, 1, 135-145.
- 矢澤久史 1988 ラットにおける強化事象のチャンキング 動物心理学年報, 38, 48.
- 矢澤久史 1995 ラットの系列パターン学習における短い試行間隔による分節化 心理学研究, 66, 373-378.
- Yazawa, H., & Fujita, O. 1984 Reinforcement pattern learning: Do rats remember all prior events? *Animal Learning & Behavior*, 12, 383-390.
- Wathen, C. N., & Roberts, W. A. 1994 Multiple-pattern learning by rats on an eight-arm radial maze. *Animal Learning & Behavior*, 22, 155-164.